

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

Utjecaj klimatskih promjena na rasprostranjenost vretenca
Climate change impact on distribution of dragonflies and
damselflies

SEMINARSKI RAD

Ivana Grgić

Preddiplomski studij Znanosti o okolišu

Mentor: prof. dr. sc. Zlatko Mihaljević

Pomoćni mentor: dr. sc. Marina Vilenica

Zagreb, 2016.

Sadržaj

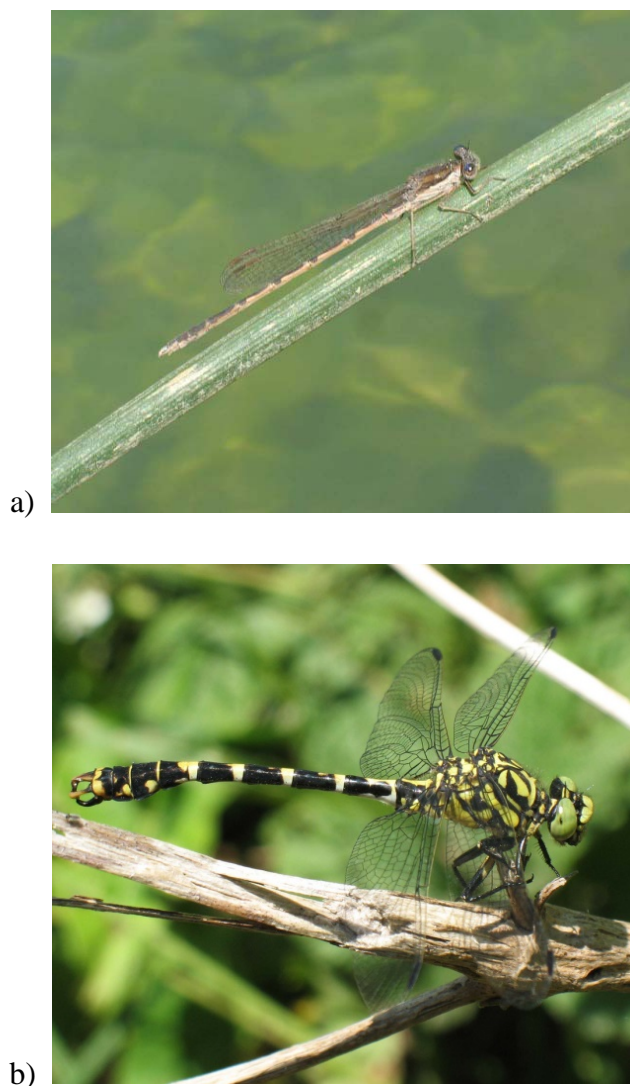
1. UVOD	1
2. BIOLOGIJA VRETENACA	1
2.1. Ličinački stadij	2
2.2. Odrasli stadij i parenje	3
2.3. Stanište	4
3. KLIMATSKE PROMJENE	6
3.1. Utjecaj klimatskih promjena na vodene ekosustave i živi svijet u njima	6
3.2. Vodeni kukci kao pokazatelji klimatskih promjena	7
4. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA RASPROSTRANJENOST VRETENCA	9
6. LITERATURA	12
7. SAŽETAK	16
8. SUMMARY	17

1. UVOD

Klimatskim promjenama, koje se događaju uslijed "zarobljavanja" Sunčeve energije u Zemljinoj atmosferi zbog povećane emisije stakleničkih plinova, mijenja se prosječna temperatura zraka i vodenih površina (Hannah 2015). To utječe na količinu otopljenog kisika u vodi, stupanj trofije, učestalost padalina te niz drugih čimbenika (Bonada i sur. 2007), što čini vodene ekosustave osjetljivima na velike klimatske promjene. Budući da je većina vodenih organizama ektotermna, mnogi od njih toleriraju mali raspon temperaturnih vrijednosti što im ograničava područje rasprostranjenosti. (Burgmer i sur 2007; iz Filipe i sur. 2013). Stoga je i najčešći odgovor organizama na klimatske promjene pomicanje areala rasprostranjenosti (Feehan i sur. 2009). Vretenca su skupina kukaca kod kojih se ličinački stadij razvija isključivo u vodi, dok se odrasle jedinke zadržavaju u zračnom i kopnenom prostoru (Belančić 2008). Zbog svoje mobilnosti lako osvajaju nova staništa te pružaju dobar primjer pomicanja areala pod utjecajem klimatskih promjena (Filipe i sur 2013).

2. BIOLOGIJA VRETENACA

Vretenca (Odonata) su drevni red razreda kukaca (Insecta). Pravretenca su se pojavila tijekom razdoblja karbona, prije više od 300 milijuna godina. Današnje vrste dijele se na dva podreda: Zygoptera ili uskostruka vretenca (Sl. 1a) i Anisoptera ili širokostruka vretenca (Sl. 1b). (Belančić i sur. 2008). Njihove biološke karakteristike možemo sumirati na nekoliko osnovnih značajki: vretenca su životinje koje zauzimaju različita staništa i ekološke niše u ličinačkom (voda) i u odraslom stadiju (tlo i zrak) života; vrste unutar reda su predatori tijekom svih životnih stadija; te imaju karakterističan način razmnožavanja, indirektnim unosom sjemeni i naknadnom oplodnjom jajašaca (Dijkstra i Lewington 2006). Kako su vrhunac svog evolucijskog razvoja dosegli prije pojave potpune preobrazbe, životni ciklus vretenaca karakterizira nepotpuna preobrazba, odnosno odsustvo stadija kukuljice (Belančić i sur. 2008).



Slika 1. Dva podreda unutar reda vretenaca (Odonata): a) Zygoptera ili tankostruka vretenca (*Sympecma fusca* (Vander Linden, 1820)); b) Anisoptera ili širokostruka vretenca (*Onychogomphus forcipatus* (Linnaeus, 1758)) (fotografirali M. Vilenica i K.-D. B. Dijkstra).

2.1. Ličinački stadij

U vodenom mediju se iz oplodjenog jajašca najprije razvija predličinka. Ona se ubrzo nakon izlijeganja presvuče, a iz nje se razvija vodena ličinka (Belančić i sur. 2008). Ličinka se presvlači između 9 i 16 puta, ovisno o vrsti vretenca. No, točan broj može varirati i među pripadnicima iste vrste ovisno o uvjetima u staništu (Corbet 1962, Belančić i sur. 2008). Rast ličinke je primarno uvjetovan temperaturom vode, kao i izvorima hrane koja ovisi o kvaliteti staništa. U umjerenom klimatskom pojasu, topla razdoblja s temperaturama pogodnim za preobrazbu i parenje odraslih jedinki vretenaca su vrlo kratka te je moguća emergencija samo

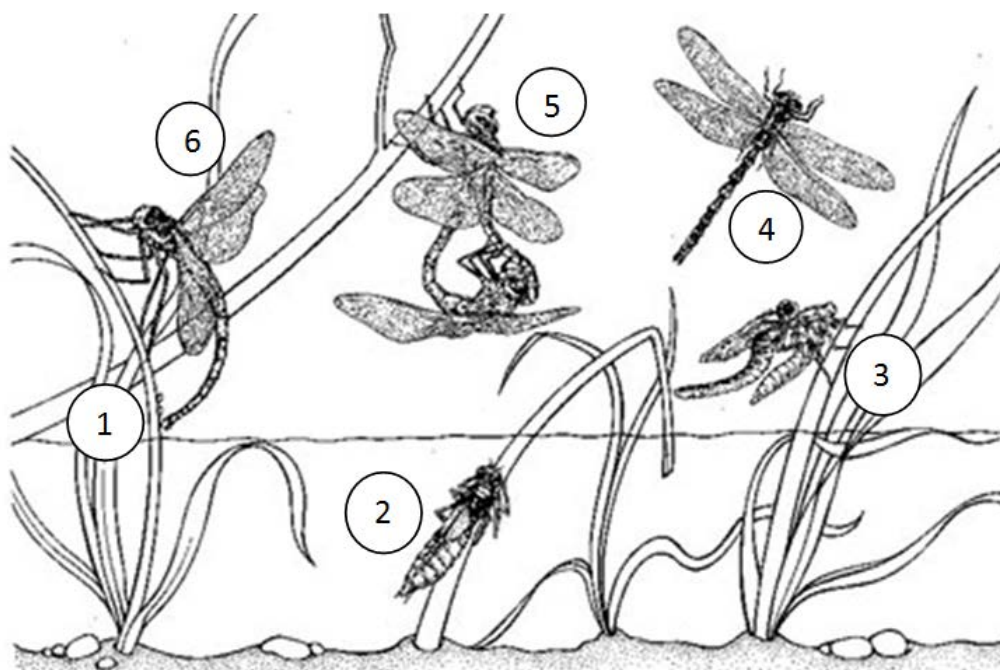
jedne generacije tijekom godine. Iz tog razloga, s obzirom na ličinački razvoj, možemo razlikovati proljetne i ljetne vrste vretenaca. U proljetnih vrsta, ličinke razvijaju svoju maksimalnu veličinu do zime ili nakon nje, kako bi s povišenjem temperature vode u proljeće mogle čim prije emergirati i pojaviti se u što većem broju. Takva strategija razvoja uzrokuje pojavljivanje odraslih jedinki tih vrsta u kratkom vremenskom periodu, ali u velikoj gustoći. Za razliku od proljetnih, ličinke ljetnih vrsta su nakon zimskog perioda male ili se tek moraju izleći iz jajašaca. Takve ličinke emergiraju u kasnijem dijelu tople sezone i pojavljuju se kroz duži vremenski period, ali u znatno manjoj gustoći (Dijkstra i Lewington 2006).

Prema kraju zadnjeg dijela ličinačke faze, njeno tkivo se postupno modificira u tkiva odrasle jedinke. Preobrazba završava izlaskom ličinke iz vode i posljednjim presvlačenjem kojim nastaje odrasla jedinka s potpuno razvijenim krilima za let. Proces izlaska ličinke iz vode i posljednjeg presvlačenja naziva se emergencija (Corbet 1962).

2.2. Odrasli stadij i parenje

Mlade jedinke nakon emergencije nisu odmah spolno zrele, što se u većini slučajeva može utvrditi po boji tijela koja se mijenja pod utjecajem spolnih hormona, odnosno sazrijevanjem gonada (Aguilar i sur. 1986, iz Belančić 2008). Sazrijevanje mladih jedinki traje između 2 i 45 dana ovisno o vrsti vretenca, spolu i temperaturi okoliša. Tijekom navedenog procesa vretenca se uglavnom udaljavaju od mjesta preobrazbe, ali mu se ponovno vraćaju za vrijeme parenja (Corbet 1962, Belančić 2008).

Način parenja kod vretenaca je vrlo specifičan i karakterističan isključivo za ovu skupinu. U mužjaka, sjeme nastaje u primarnim kopulatornim organima koji se nalaze na trbušnoj strani devetog začanog kolutića. Neposredno prije parenja sa ženkom, mužjak prenosi spermatofor na sekundarne genitalije koje se nalaze pri bazi abdomena, na trbušnoj strani drugog začanog kolutića. Oplodnja se ne događa neposredno nakon unosa sperme u tijelo ženke nego je odgođena i zbiva se prilikom polijeganja jajašaca, što dovodi do velike kompeticije mužjaka za ženke i nakon što se ona jednom pari. Mužjaci na sekundarnim genitalijama imaju nastavak kojim mogu ukloniti spermu drugog mužjaka u slučaju da se ženka već prethodno parila, a zatim unijeti svoju (tzv. sjemena kompeticija). Navedene činjenice utječu na njihovo ponašanje poput teritorijalnosti mužjaka, stvaranje tandema u obliku srca zbog korištenja sekundarnih genitalija, ili oblijetanje mužjaka iznad ženke prilikom polaganja jajašaca (Dijkstra i Lewington 2006) (Sl. 2).



Slika 2. Životni ciklus vretenaca: 1 – jajašca, 2 – ličinački stadij, 3 – emergencija, 4 – odrasla jedinka, 5 – parenje, 6 – polaganje jajašca.

(Preuzeto sa <https://museumvictoria.com.au/discoverycentre/infosheets/dragonflies-and-damselflies/>).

2.3. Stanište

Tijekom cijelog životnog ciklusa, vretenca su usko vezana uz vodu. Različite vrste imaju različite potrebe za stanišnim uvjetima. Osnovna podjela staništa vretenaca je na tekuće (potoci i rijeke) (Sl. 3a) i stajaće slatke vode (jezera, bare, močvare, lokve) (Sl.3b), budući da je većina vrsta potpuno prilagođena ili jednom ili drugom tipu staništa. Tako stroga podjela na vretenca tekućih voda i stajaćih voda uočava se ne samo između pojedinih vrsta i rodova, nego i na razini porodica. Razliku među navedenim staništima ne čini samo prisutnost, odnosno odsutnost strujanja vode nego se razlike primjećuju u količini otopljenog kisika te u sastavu dna (pjeskovito, šljunčano, stjenovito dno) i vegetacijske zajednice (Dijkstra i Lewington 2006). Sastav vegetacijske zajednice igra veliku ulogu u životu vretenaca jer predstavlja mjesto za skrivanje od predatora i vrebanje plijena, a mnogim vrstama vegetacija služi kao podloga za polaganje jajašaca (Corbet 1962). Nadalje, s obzirom na prisutnost vode na nekom području, staništa se mogu podijeliti na ona sa stalnom vodom koja nikad ne presušuje i ona sa povremenom vodom koja najčešće presušuje u vrijeme ljetnog razdoblja. Većina vrsta nije prilagođena na isušivanje staništa ili na velike temperaturne fluktuacije koje

uzrokuju promjene u razini vode. No, neke vrste su razvile jajašca ili ličinke otporne na isušivanje te u tom razdoblju mogu profitirati od presušivanja vode i visokih temperatura, budući da im se na taj način smanji broj potencijalnih predatora. Važan čimbenik u odabiru staništa je trofički status i pH vode. Ekstremna staništa poput eutrofnih jezera ili vode niskog pH naseljava samo mali broj vrsta vretenaca, dok su umjerenija staništa mnogo pogodnija za veći broj vrsta. Prirodni procesi ili ljudsko djelovanje mogu poremetiti ravnotežu ekosustava te uzrokovati postupnu eutrofikaciju mezotrofnih jezera prilikom čega nastaje problem za mnoge vrste biljaka i životinja (Dijkstra i Lewington 2006).



Slika 3. Staništa vretenaca: a) tekuće vode (rijeka Zrinčica, Banija), b) stajaće vode (jezero Blatina, otok Mljet) (fotografirala M. Vilenica).

3. KLIMATSKE PROMJENE

Klimatski sustav Zemlje čine atmosfera, oceani i kopnene površine a na njega utječu i drugi elementi poput Sunčevog zračenja, položaja Zemljine orbite u odnosu na Sunce te položaj kontinenata i oceana (Hannah 2015).

Sunčeva energija koja dolazi na Zemlju, ostaje zarobljena u atmosferi koja ju potom reflektira nazad na Zemljinu površinu. Kopno i oceani emitiraju dugovalno zračenje koje se apsorbira stakleničkim plinovima u atmosferi, nakon čega dolazi do otpuštanja energije u svim smjerovima i zagrijavanje planeta. Taj proces naziva se efekt staklenika. Najvažniji staklenički plinovi su metan (CH_4), vodena para (H_2O) i ugljični dioksid (CO_2) koji nastaju prirodnim procesima, ali i antropogenim djelovanjem. Oceani, veliki spremnici vode, su vrlo važna komponenta klimatskog sustava koja ima sposobnost skladištenja toplinske energije i otopljenih plinova. Površina Zemlje je prekrivena vegetacijom, stijenama, antropogenim konstrukcijama te snijegom i ledom. O boji i strukturi površine ovisi reflektiranje topline, odnosno zagrijavanje planeta. Tamne površine upijaju Sunčevu energiju koja se zatim emitira kao dugovalno zračenje i ponovno apsorbira stakleničkim plinovima, dok svijetle podloge direktno odbijaju Sunčevo zračenje i vraćaju ga u svemir te tako sprječavaju zagrijavanje Zemlje (Hannah 2015).

Tijekom zadnjih 500 milijuna godina na Zemlji su se dogodila četiri velika hladna razdoblja (ledena doba) koja su se izmjenjivala toplim periodima (Hannah 2015). Današnje ubrzano povećano zagrijavanje Zemljine površine počelo je tijekom 20.-og stoljeća (Vittoz i sur. 2013) pri čemu se prosječna temperatura zraka do 2007. godine povisila za $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Među uzročnicima rasta temperature važnu ulogu ima povećano emitiranje stakleničkih plinova, osobito ugljičnog dioksida (Menéndez, 2007) koje je započelo industrijskom revolucijom. IPCC (eng. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) predviđa da će temperatura nastaviti rasti i tijekom sljedećeg stoljeća te će 2100. godine povišenje doseći vrijednost od $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Houghton i sur. 2001; iz Menéndez, 2007).

3.1. Utjecaj klimatskih promjena na vodene ekosustave i živi svijet u njima

Vodeni ekosustavi su vrlo osjetljivi na velike promjene koje se događaju uslijed trenutnih klimatskih promjena. Posljednjih nekoliko desetljeća, posljedice klimatskih promjena su sve značajnije, a uključuju povećanje prosječne temperature zraka i vode, smanjenje godišnjeg prosjeka padalina, promjene hidrološkog ciklusa, povećanje učestalosti, trajanja i intenziteta

ekstremnih pojava kao što su poplave, suše i požari (Bonada i sur. 2007). Povišenje temperature utječe na ukupnu evaporaciju i precipitaciju koje variraju ovisno o zemljopisnoj regiji. Količina padalina tijekom ljeta i jeseni se smanjuje, a tijekom zime i proljeća povećava (Giorgi i sur. 2004; iz Bonada i sur. 2007). Takva poremećena ravnoteža hidrološkog ciklusa na nekim područjima uzrokuje velike i dugotrajne poplave, dok na drugima vladaju suše.

Većina slatkovodnih organizama je ektotermna, odnosno temperatura njihova tijela ovisi o temperaturi okoliša. Zbog toga mnogi od njih toleriraju relativno uski raspon temperaturnih vrijednosti što utječe na ograničenje njihove prostorne rasprostranjenosti (Burgmer i sur. 2007; iz Filipe i sur. 2013). Među organizmima posebno osjetljivima na utjecaje klimatskih promjena su stenotermni organizmi koji kao posljedicu mijenjaju svoj areal te organizmi vezani uz manje slatkovodne površine kao što su potoci, lokve ili bare koje tijekom velikih ljetnih suša mogu presušiti. Svi vodeni organizmi su barem tijekom jedne faze u životnog ciklusa vezani za vodena ili vlažna staništa te im dugotrajne suše ograničavaju sposobnost prilagodbe klimatskim promjenama (Bêche i sur. 2009, Filipe i sur. 2013).

Klimatske promjene značajno pridonose smanjenju biološke raznolikosti (Feehan i sur. 2009), stoga su pogodni klimatski uvjeti vrlo važni za određivanje rasprostranjenost vrsta i stabilnost ekosustava (Schweiger 2008; iz Feehan i sur. 2009). Povišenjem temperature dolazi do ekoloških promjena koje utječu na organizme te mogu prouzročiti smanjenje njihove adaptivne sposobnosti. To u konačnici može rezultirati njihovim izumiranjem (Menéndez 2007, Feehan i sur. 2009). Proučavanjem bioraznolikosti slatkovodnih ekosustava mnogo se saznalo o odgovorima i reakcijama vodenih organizama na klimatske promjene, osobito onim odgovorima vezanim uz njihovu rasprostranjenost, životne zajednice, fenološke promjene i u konačnici izumiranje (Visser 2008; iz Filipe i sur. 2013).

3.2. Vodeni kukci kao pokazatelji klimatskih promjena

Kukcima pripada čak 54 % svih poznatih vrsta životinja a naseljavaju sva kopnena i vodena staništa (Schowalter 2000; iz Menéndez 2007). Kratko generacijsko vrijeme i visoka stopa reprodukcije omogućuje im brži odgovor na klimatske promjene nego što je to kod organizama dugog životnog vijeka. Osim toga, klimatske značajke imaju snažan i izravan utjecaj na njihov razvoj, reprodukciju i opstanak te su zbog toga dobri indikatori klimatskih promjena (Bale i sur. 2002).

Neke vrste slatkovodnih kukaca mijenjale su svoje areale rasprostranjenosti kako bi preživjele promijenjene uvjete u okolišu nastanjujući nova povoljna staništa prema kojima

prilagođavaju svoju fenologiju (Hoffman i Parsons 1997; iz Filipe i sur. 2013). Mijenjajući svoj areal u skladu s klimatskim promjenama, brojne vrste kukaca kretale su se prema većim geografskim širinama te prema višim nadmorskim visinama (Otero i sur. 2011; iz Filipe i sur. 2013). Vrste koje su prilagođene nižim temperaturama i imaju nisku toleranciju na temperaturne promjene (stenotermne vrste) će svoje areale pomicati u hladnije predjele i smanjivati ih, dok će vrste koje toleriraju povišene temperature (euritermne vrste) proširiti svoje areale (Filipe i sur 2013). Vretenca (Odonata), jedan su od najboljih primjera promjena u rasprostranjenosti pojedinih vrsta jer zbog svoje mobilnosti lako naseljavaju povoljnija staništa. Red kukaca značajno utjecan povišenjem globalne temperature zraka i vode su obalčari (Plecoptera), čije ličinke žive u hladnim tekućim vodama bogatim kisikom a odrasli, iako su leteći kukci, imaju malu sposobnost disperzije. Izrazito su osjetljivi na promjene u okolišu te čak i vrlo male promjene temperature mogu dovesti do lokalnog izumiranja. Samo je nekoliko vrsta obalčara razvilo veću temperaturnu toleranciju i otpornost na isušivanje te se predviđa da će pod utjecajem klimatskih promjena te vrste povećati svoje populacije i invazivno se proširiti na druga područja (Tierno de Figueroa i sur. 2010).

Pomicanje areala utječe i na bogatstvo vrsta, strukturu životne zajednice te interakcije unutar zajednice. Disperzijom prema polovima ili na više nadmorske visine, povećava se pritisak prirodne selekcije što vremenom može dovesti do evolucijskih promjena (Davies i sur. 2006, Menéndez 2007). Disperzija također može utjecati na međusobne interakcije jer primjerice dolazi do kompeticije u vrsta koje prije promjena nisu bile u kontaktu ili su im zbog dovoljno resursa interakcije bile ograničene (Menéndez 2007).

Osim na rasprostranjenost, temperatura ima velik utjecaj na brzinu rasta i sazrijevanje salatkovodnih organizama. Također, raniji početak toplijih razdoblja, ekstremno vruća ljeta, blaže temperature tijekom zime te generalno povišenje prosječne godišnje temperature može dovesti organizme do gornje granice tolerancije temperature okoliša, utjecati na fenološke promjene, odnosno promjene u životnom ciklusu (McKee i Atkinson 2000; Roy i Sparks 2000; iz Menéndez, 2007). Istraživanja utjecaja promjene temperature okoliša na vrstu vodencvjeta (Ephemeroptera) *Cloeon dipterum* (Linnaeus, 1761) pokazala su da pri povišenim temperaturama dolazi do bržeg rasta ličinke te preuranjenog izlijetanja što utječe na smanjenu veličinu tijela odrasle jedinke. Promjene u životnom ciklusu, osobito proces sazrijevanja, mogu utjecati na karakteristike populacije jer veličina tijela i vrijeme reprodukcije su u korelaciji s fitnesom jedinke (Stearns 1992; iz McKee i Atkinson 2000).

4. UTJECAJ KLIMATSKIH PROMJENA NA RASPROSTRANJENOST VREtenca

Vretenca predstavljaju jednu od najosjetljivijih skupina beskralježnjaka na klimatske promjene. Životnim ciklusom su vezani uz kopnena i vodena staništa te imaju veliku sposobnost disperzije što ih čini dobrim pokazateljima promjena u staništu i okolišu. Također, njihova karakteristična i atraktivna pojava u ljudima je još davno probudila interes za proučavanje njihove biologije, koja je iz tog razloga danas vrlo dobro istražena. Zahvaljujući tome omogućeno je lakše praćenje njihovog kretanja i širenja (Ott 2001).

Jedan od glavnih odgovora organizama, pa tako i vretenaca, na klimatske promjene je pomicanje područja rasprostranjenosti (Parmesan i sur. 1999; iz Goffart 2010). Pomicanja areala je potrebno pratiti na širokom prostoru uz određivanje sjeverne i južne granice rasprostranjenosti pojedinih vrsta. Praćenje rasprostranjenosti ili brojnosti pojedinačnih vrsta može upućivati na utjecaje klimatskih promjena, ali ih ne dokazuje. Zbog toga je potrebno pratiti ukupni trend pomicanja areala (Parmesan i Yohe 2003; iz Goffart 2010) i razmotriti ostale čimbenike koji mogu utjecati na rasprostranjenost. Neki od mogućih čimbenika su promjene kvalitete staništa pod antropogenim utjecajem (kanaliziranjem potoka i rijeka, isušivanje i eutrofikacija te zagađenje vodenih staništa) ili prirodna dinamika vrsta koja je uglavnom još neistražena i nepoznata (Goffart 2010). Eutrofikacija čini važan proces mijenjanja vodenih okoliša. Razvojem industrije tijekom 20. stoljeća, povećanom uporabom gnojiva u poljoprivredi te ispuštanjem otpadnih komunalnih voda iz domaćinstava, taj proces se ubrzava. Poznato je da su vrste vretenaca južnih regija prilagođene vodama u procesu eutrofikacije, dok vrste sjevernije rasprostranjenosti preferiraju oligotrofne vodene okoliše (Corbet 1999; iz Goffart 2010).

Promjene u faunističkom sastavu vretenaca već su zabilježene u mnogim europskim i američkim zemljama (Parr 2004, Ott 2000; iz Goffart 2010). Broj euritermni vrsta se povećava zbog širenja areala čime se potiskuju stenotermne vrste koje preferiraju niže temperature. Goffart (2010) u svom istraživanju uočava značajno povećanje broja uočenih vrsta na području Belgijske pokrajine Wallonia-e u posljednja dva desetljeća. Migracije vretenaca uočene su u Belgiji ali i u drugim sjeverozapadnim dijelovima Europe (Ott 2001). Brza kolonizacija poznata u nekim vrstama vretenaca (*Anax parthenope* (Selys, 1839) i *Sympetrum fonsolubii* (Selys, 1840)) može se objasniti njihovim migracijama na zračnim strujama toplog i suhog južnog vjetrova. Mogu biti nošeni na udaljenosti i do nekoliko stotina kilometara (Colbert 1999; iz Goffart 2010). Prvo širenje areala pod utjecajem klimatskih promjena uočeno je sredinom 80-ih godina kod vrste *Crocothemis erythraea* (Brullé, 1832),

koja potječe iz sjevernoafričkih i južноеuropskih područja. *Crocothemis erythrea* je prva i najbrojnija vrsta koja je zabilježena na području Belgije, a danas ima stalne stabilne populacije u stajaćim vodama u Wallonia-i (Goffart 2010). I u Velikoj Britaniji je posljednjih nekoliko godina također zapažen dolazak velikog broja novih vrsta, od kojih su mnoge autohtone na području Mediterana (Parr 2010). Vrsta *Erythromma viridulum* (Charpentier, 1840) je prvi put uočena 1999. godine, a danas ima lokalizirane stalne populacije u jugoistočnoj Engleskoj, dok je vrsta *A. parthenope* prvi put zabilježena 80-ih godina, a od 1996. godine redovno se uočava i do nekoliko stotina jedinki. U Velikoj Britaniji je u posljednjih nekoliko godina zabilježena pojava vrsta *Sympetrum pedemontanum* (Müller in Allioni, 1776), *Anax junius* (Drury, 1773) i *C. erythrea* (Parr 2004, Parr 2005, Pellow 1999; iz Parr 2010). Povišenje prosječne temperature zraka i vode u Nizozemskoj, osobito povišenje proljetnih temperatura, uzrokovalo je širenje areala nekoliko južnih vrsta kao što su *Lestes barbarus* (Fabricius, 1798), *Aeshna affinis* (Vander Linden, 1823), *A. parthenope*, *C. erythraea*, *Orithetrum brunneum* (Fonscolombe, 1837) i *Sympetrum fonscolombii* (Selys, 1840). Vrsta *Coenagrion scitulum* (Rambur, 1842) je proširila svoj areal prvotno do sjeverne Francuske i Belgije, a 2003. godine je prvi put zabilježena i u Nizozemskoj (Goudsmits 2003; iz Termaat i sur. 2010). Smanjenje broja vrsta sjevernog areala nije izravno uzrokovano povišenjem temperature, nego je posljedica degradacije staništa i povećane kompeticije s vrstama južnog areala. Za razliku od primjetne, brze kolonizacije sjevernijih staništa novim vrstama, pad broja jedinki autohtonih vrsta (i samog broja vrsta) u sjevernim područjima bit će spor i teže uočljiv (Termaat i sur. 2010).

Slične promjene događaju se i na višim nadmorskim visinama (Rahbek 1995; iz Oertli 2010), gdje se brojnost vrsta značajno povećala te se smatra da će uzrokovati velika izumiranja autohtonih stenotermnih vrsta (Oertli 2010). U Švicarskoj su u planinskim područjima zabilježene 72 alohtone vrste, a samo 7 vrsta koje se smatraju „vrstama hladnijih područja“ (*Aeshna caerulea* (Ström, 1783), *Aeshna juncea* (Linnaeus, 1758), *Aeshna subarctica* (Walker, 1908), *Coenagrion hastulatum* (Charpentier, 1825), *Leucorrhinia dubia* (Vander Linden, 1825), *Somatochlora alpestris* (Selys, 1840), *Somatochlora arctica* (Zetterstedt, 1840)) (Gonseth i Monnerat 2002; iz Oertli 2010). Alohtone vrste su inače stanovnici nižih nadmorskih visina s većom temperaturnom tolerancijom, koje su povišenjem prosječne godišnje temperature proširile svoje areale na planinska područja (Oertli 2010).

Širenje areala posebno je bitno promatrati na područjima na kojima se zbivaju veliki događaji pod utjecajem klimatskih promjena kao što je El Niño. Samways i Niba (2010) proučavali su reakcije vretenaca na ekstremne klimatske uvjete na istočnoj obali južne Afrike.

Rezultati su pokazali da promjene uvjeta imaju relativno malen utjecaj na zajednice vrsta. Područje istočne obale južne Afrike nastanjuju suptropske vrste vretenaca. One imaju dugu sezonu leta s preklapajućim generacijama (karakteristika tropskih vrsta), ali većina vrsta prezimljava u ličinačkom stadiju (karakteristika vrsta u umjerenim širinama), što ukazuje na evolucijske prilagodbe na tropske, ali i umjerene prostore. Prilagođenost različitim uvjetima omogućuje tim vrstama da budu generalisti prilikom odabira staništa.

Još jedan negativni učinak povišenja prosječnih ljetnih temperatura je povećana evaporacija, koja dovodi do smanjenja razine vode, što može dovesti do presušivanja vodenih površina te sušenja vegetacije u riparijskoj zoni stajaćih voda i duž riječnih tokova. To se najčešće događa u ljetnim mjesecima kada se u vodi nalaze jedinke vretenaca u inače vrlo osjetljivom ličinačkom stadiju. Sezonskim presušivanjem vodotokova i stajaćica dolazi do stagnacije i u konačnici zakiseljavanja podzemne vode koja napaja te vodene površine (Termaat i sur 2010). Time nestaju pogodna staništa za većinu vrsta vretenaca, što za posljedicu može imati smanjenje njihovih areala.

6. LITERATURA

- Aguilar J., Dommaget J. L., Prechac R. (1986): A field guide to the dragonflies of Britain, Europe and North Africa. William Collins Sons and Company Ltd., London.
- Bêche L. A., Connors P. G., Resh V. H., Merenlender A. M. (2009): Resilience of fishes and invertebrates to prolonged drought in two California streams. *Ecography* **32**: 778–788.
- Bale J. S., Masters G. J., Hodgkinson I. D., Awmack C., Bezemer T. M., Brown V. K., Butterfield J., Buse A., Coulson J. C., Farrar J., Good J. E. G., Harrington R., Hartley S., Jones T. H., Lindroth R. L., Press M. C., Symrnioudis I., Watt A. D., Whittaker J. B. (2002): Herbivory in global climate change research: direct effect of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* **8**: 1–16.
- Belančić A., Bogdanović T., Franković M., Ljuština M., Mihoković N., Vitas B. (2008): Crvena knjiga vretenaca Hrvatske, Ministarstvo kulture i Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, str. 11-16.
- Bonada N., Dolédec S., Statzner B. (2007): Taxonomic and biological trait differences of stream macroinvertebrate communities between mediterranean and temperate regions: implications for future climatic scenarios. *Global Change Biology* **13**: 1658–1671.
- Burgmer T., Hillebrand H., Pfenninger M. (2007): Effects of climate-driven temperature changes on the diversity of freshwater macroinvertebrates. *Oecologia* **151**: 93–103.
- Corbet P. S. (1962): Biology of Dragonflies, H. F. & G. Witherby Ltd., London, str. XV; 7-12.
- Corbet P. S. (1999): Dragonflies, Behaviour and Ecology of Odonata. Harley Books, Martins, str. 882.
- Davies Z. G., Wilson R. J., Cole S., Thomas C. D. (2006): Changing habitat associations of a thermally constrained species, the silver-spotted skipper butterfly in response to climate warming. *Journal of Animal Ecology* **75**: 247–256.
- Dijkstra K. -D. B., Lewington R. (2006): Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe. British Wildlife Publishing, Velika Britanija, str. 8-9;12-13.
- Feehan J., Harley M., Minnen J. (2009): Climate change in Europe. 1. Impact on terrestrial ecosystems and biodiversity. A review. EDP Sciences, *Agronomy for Sustainable Development* **29**: 409–421.
- Filipe A. F., Lawrence J. E., Bonada N. (2013): Vulnerability of stream biota to climate change in mediterranean-climates: a synthesis of ecological responses and conservation challenges. *Hydrobiologia* **719**: 331-352.

- Giorgi F., Bi X., Pal J. (2004): Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe: II: climate change scenarios (2071–2100). *Climate Dynamics* **23**: 839–858.
- Hannah L. (2015): Climate Change Biology (Second Edition), Academic Press, London. U: Chapter 2: The climate system and climate change, str. 13-50.
- Goffart P. (2010): Southern dragonflies expanding in Wallonia (south Belgium): a consequence of global warming? *BioRisk* **5**: 109–126.
- Gonseth Y., Monnerat C. (2002): Liste rouge des espèces menacées en Suisse. Libellules. Centre Suisse de Cartographie de la Faune. Neuchâtel.
- Goudsmits K. (2003): De eerste waarneming van de gaff elwaterjuffer (*Coenagrion scitulum*) in Nederland. *Brachytron* **7**: 27–29.
- Hoffman A. A., Parsons P. A. (1997): Extreme Environmental Change and Evolution. Cambridge University Press, Cambridge.
- Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Xiaosu D., Maskell K., Johnson C. A. (2001): Climate Change. The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge, str. 892.
- McKee D., Atkinson D. (2000): The influence of climate change scenarios on populations of the mayfly *Cloeon dipterum*. *Hydrobiologia* **441**: 55–62.
- Menéndez R. (2007): How are insects responding to global warming? *Nederlandse Entomologische Vereniging* **150**: 355–365.
- Oertli B. (2010): The local species richness of Dragonflies in mountain waterbodies: an indicator of climate warming? *BioRisk* **5**: 243–251.
- Otero I., Boada M., Badiab A., Plac E., Vayredac J., Sabaté S., Gracia C. A., Peñuelas J. (2011): Loss of water availability and stream biodiversity under land abandonment and climate change in a mediterranean catchment (Olzinelles, NE Spain). *Land Use Policy* **28**: 207–218.
- Ott J. (2001): Expansion of mediterranean Odonata in Germany and Europe – consequences of climatic changes. U: Fingerprints of Climate Change, str. 89–111.
- Ott J. (2010): The Big Trek Northwards: Recent Changes in the European Dragonfly Fauna. U: Atlas of biodiversity risk, str. 82-83.
- Parmesan C., Ryrholm N., Stefanescu C., Hill J. K., Thomas C. D., Descimon H., Huntley B., Kaila L., Kullberg J., Tammaru T., Tennent W. J., Thomas J. A., Warren M. (1999): Poleward shifts. *BioRisk* **5**: 109–126.

- Parmesan C., Yohe G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**: 37–42.
- Parr A. J., De Knijf G., Wasscher M. (2004): Recent appearances of the Lesser Emperor *Anax parthenope* (Sélys) in north-western Europe. *Journal of the British Dragonfly Society* **20**: 5–16.
- Parr A. J. (2005): Migrant and dispersive dragonflies in Britain during 2004. *Journal of the British Dragonfly Society* **21**: 14–20.
- Parr A. J. (2010): Monitoring of Odonata in Britain and possible insights into climate change. *BioRisk* **5**: 127–139.
- Pellow K. (1999): An influx of Green Darner *Anax junius* (Drury) into Cornwall and the Isles of Scilly: the first European records. *Atropos* **6**: 3–7.
- Rahbek C. (1995): The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography* **18**: 200–205.
- Roy D. B., Sparks T. H. (2000): Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology* **6**: 407–416.
- Samways M. J., Niba A. S. (2010): Climate and elevational range of a South African dragonfly Assemblage. *BioRisk* **5**: 85–107.
- Schowalter T. D. (2000) Insect Ecology. An ecosystem approach, Elsevier, str. 576.
- Schweiger O., Settele J., Kudrna O., Klotz S., Kühn I. (2008): Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. *Ecology* **89**: 3472–3479.
- Stearns, S. C., 1992. The Evolution of Life Histories. Oxford University Press, New York, str. 123–149.
- Termaat T., Kalkman V. J., Bouwman J. H. (2010): Changes in the range of dragonflies in the Netherlands and the possible role of temperature change. *BioRisk* **5**: 155–173.
- Tierno de Figueroa J. M., López-Rodríguez M. J., Lorenz A., Graf W., Schmidt-Kloiber A., Hering D. (2010): Vulnerable taxa of European Plecoptera (Insecta) in the context of climate change. *Biodiversity and Conservation* **19**: 1269–1277.
- Visser M. E., Both C. (2005): Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. Proceedings of the Royal Society of London Series B – *Biological Sciences* **272**: 2561–2569.

Internetski izvori:

Museum Victoria - [https://museumvictoria.com.au/discoverycentre /infosheets/ dragonflies-and-damselflies/](https://museumvictoria.com.au/discoverycentre/infosheets/dragonflies-and-damselflies/) (Pristupljeno 26.6.2016.)

7. SAŽETAK

Ubrzano povišenje prosječne temperature na Zemlji započelo je usporedno s industrijskom revolucijom, a dovelo je do čitavog niza promjena koje nazivamo klimatskim promjenama. Posljednjih desetljeća svjedoci smo sve češćih ekstremnih događaja poput suša, poplava ili požara. Takve pojave uzrokuju nestanak ili smanjivanje određenog tipa staništa što u mnogim slučajevima dovodi do izumiranja stenovalentnih vrsta. Najčešći odgovor životinja na promjene u okolišu uzrokovane promjenama klime su promjene područja rasprostranjenosti. Zahvaljujući dugoj tradiciji proučavanja njihove biologije, vretenca su jedna od bolje istraženih skupina životinja, te je moguće pratiti promjene areala pojedinih vrsta i donijeti zaključke o obrascima takvih promjena. Zbog svoje mobilnosti lako osvajaju nova staništa te pružaju dobar primjer pomicanja areala pod utjecajem klimatskih promjena. Vrste toplijih staništa u pravilu se pomiču prema polovima, vrste nižih nadmorskih visina pomiču se na više nadmorske visine te tako potiskuju stenotermne vrste hladnijih staništa, što u konačnici može dovesti do izumiranja tih vrsta. Na većini istraživanih područja zabilježeno je povećanje broja euritermni vrsta a smanjenje broja stenotermni vrsta koje preferiraju niže temperature, što je najvjerojatnije posljedica kompeticije i degradacije staništa. Prvo širenje areala uočeno je kod sjevernoafričke euritermne vrste *Crocothemis erythraea* koja danas ima stabilne i stalne populacije na sjeveru Europe (Belgija i Velika Britanija). Neke vrste (pr. *Anax parthenope* i *Sympetrum fonscolombii*) putuju na zračnim strujama toplog i suhog južnog vjetra kojim mogu biti nošene na velike udaljenosti te na taj način brzo koloniziraju nova povoljna staništa. Pomicanje areala značajno utječe na bioraznolikost i strukturu životnih zajednica te povećava selekcijski pritisak koji u dužem vremenskom periodu dovodi do evolucijskih promjena.

8. SUMMARY

Rapid increase of average temperature on the Earth started at the same time with the industrial revolution, and has led to a series of changes called climate change. In the last decades we have witnessed more and more frequent catastrophic events such as droughts, floods and fires. These events cause decrease in size or even loss of specific habitat types, which in many cases results in the extinction of stenovalent species. The most common way the organisms respond to the environmental changes caused by climate change, is in shifting their distribution. Due to the long tradition in studying Odonata, dragonflies and damselflies are among the better known animal group. Therefore, it is possible to monitor shifts in distribution of certain species and make conclusions about the patterns of such changes. Due to their mobility, dragonflies can easily colonize new habitats, and thus provide a good example of areal expansion under the influence of climate change. Species from warmer habitats usually move poleward, species living at lower altitudes move to higher altitudes and consequently suppress cold stenothermal species, which can finally lead to the extinction of these species. A number of studies have recorded an increase in the number of eurytherm species and a decrease in the number of species which prefer lower temperatures (stenotherm species), which is most probably a result of competition and habitat degradation. The first areal dragonfly expansion was recorded in Northern African eurytherm species *Crocothemis erythraea*, that nowadays has stable and permanent populations in the Northern Europe (Belgium and Great Britain). Some species (e.g. *Anax parthenope* and *Sympetrum fonscolombii*) can colonize new favorable habitats by travelling on air currents of the warm and dry southern wind, which can carry them long distances. Distribution changes (areal shifts) have a significant impact on biodiversity and community structure, but they also increase selection pressure, which in the long run, could lead to evolutionary changes.